



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 2906

To link to this article :

URL : http://www.lactualitechimique.org/larevue_article.php?cle=2099

To cite this version : Arurault, Laurent (2009) [*L'électrochimie pour la décoration et la création artistique : Coloration de l'aluminium en architecture et en aluchromie*](#). Actualité Chimique (L') (n° 327 - 328). pp. 45-50. ISSN 0151-9093

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@inp-toulouse.fr

L'électrochimie pour la décoration et la création artistique

Coloration de l'aluminium en architecture et en aluchromie

Laurent Arurault

Résumé

Au cours de la création d'une œuvre artistique sur substrat métallique, l'électrochimie intervient essentiellement au niveau des traitements de surface. La surface métallique peut être par exemple modifiée par électropolissage ou par brillantage électrolytique afin d'obtenir une grande brillance, puis par anodisation menant alors suivant les conditions opératoires à un film anodique soit compact soit poreux. Les films compacts sont mis en œuvre avec succès sur plusieurs métaux (Al, Ti, Nb), la coloration résultant alors de phénomènes interférentiels. Le second cas concerne les films anodiques poreux, obtenus usuellement sur les substrats d'aluminium. L'existence de cette porosité permet d'intégrer des colorants ou des pigments organiques, minéraux ou métalliques. Depuis les années 1960, le procédé de coloration électrolytique permet ainsi de déposer du métal au fond des pores, et par là même de décorer des éléments métalliques en architecture. Pour sa part, le mouvement artistique des Aluchromistes a plutôt mis en œuvre la coloration chimique organique, qui permet une plus grande variété de coloris et de nuances, ainsi qu'une plus grande facilité d'élaboration de motifs et de formes.

Mots-clés

Électrochimie, œuvres d'art, aluchromie, aluminium, coloration.

Abstract

The use of electrochemistry for decoration and artworks: the colouring of the aluminium from the architecture to the aluchromy

During the creation of an artwork on a metallic substrate, electrochemistry especially occurs during the surface treatments. The metallic surface could be modified at first by electropolishing or by electrolytic brightening in view to obtain a bright appearance, and then by anodization that allows according to the operational conditions to obtain a compact or porous anodic film. The compact films are successfully carried out on the Al, Ti or Nb substrates, the colour resulting from interferential phenomena. Porous anodic films are usually obtained on aluminium alloys, the inside porosity allowing to integrate metallic, mineral or organic pigments or dyes. Since the sixties, the process of electrolytic colouring has been used to obtain metallic deposit at the pores bottom of the anodic film and thus to decorate the metallic parts for the architecture. For the artworks creation, the Aluchromists preferentially used the organic chemical colouring process, that allows more possibilities to obtain varied colours and designs.

Keywords

Electrochemistry, artworks, aluchromy, aluminium, colouring.

Décrire l'emploi de l'électrochimie dans les domaines de la décoration et des œuvres d'art paraît une gageure tant le sujet est vaste. Quels objets ou œuvres doit-on considérer ? L'électrochimie concerne-t-elle l'élaboration de la matière, sa mise en forme, sa finition, ou bien même sa conservation, voire sa restauration ?

Le but du présent article ne sera en aucun cas de définir les pièces et œuvres suivant les classifications usuelles de « décoration », « art décoratif » ou « art », et encore moins de les juger suivant leurs qualités en termes de sens, de composition ou de technique. Notre propos est clairement d'expliquer l'usage de l'électrochimie pour élaborer des œuvres, les substrats employés étant alors inévitablement conducteurs de l'électricité, donc métalliques. Là encore sera écartée la possible production électrochimique du substrat métallique, c'est-à-dire l'électrometallurgie, même si dans le cas de l'aluminium par exemple, le passage du procédé chimique mis au point en 1854 par Henri Sainte-Claire Deville au procédé électrochimique Hall-Héroult (1886) a eu sans ambiguïté une incidence en termes d'applications, en raison de l'abaissement considérable du prix [1]. Le but

de cet article sera en fait de décrire les traitements électrochimiques de surface généralement utilisés sur substrats métalliques, et en particulier ceux mis en œuvre pour la coloration des films anodiques sur alliages d'aluminium, qui offrent le plus de possibilités en terme technologique en raison de leur porosité. Les historiques des techniques d'élaboration industrielles et artistiques seront notamment mis en exergue afin, non seulement d'expliquer les choix pratiques des artistes, mais également d'éclairer les problématiques actuelles ou à venir de conservation et de restauration.

Préparation et modification de la surface métallique

Les traitements de surface des métaux et alliages métalliques débutent usuellement par des prétraitements de préparation de la surface, c'est-à-dire un dégraissage puis un décapage ayant pour objectif respectivement de nettoyer la surface et d'éliminer la couche oxydée, résultant soit d'une passivation naturelle, soit d'un traitement thermique ou

thermomécanique, à l'exemple du laminage. À ce stade, l'électrochimie n'intervient pas, ou peu sous forme soit d'électrodégraissage soit d'électrodécapage. Cependant, ces procédés sont généralement réservés à la préparation de surface des bandes métalliques – acier, bronze ou laiton – au défilé, ce qui paraît *a priori* exclu pour des applications artistiques.

Outre les prétraitements, la surface métallique peut être modifiée à la suite par des opérations soit de satinage, soit au contraire de brillantage. Le satinage, dénommé également matification, permet de conférer un aspect mat décoratif à la surface, ce traitement chimique ou mécanique induisant en première approche une augmentation de la rugosité. À l'opposé, un polissage mécanique (par abrasion fine), ou un brillantage (électro)chimique permet de développer un aspect métallique brillant à la surface. Le principe est ici de diminuer la rugosité à toutes les échelles afin d'améliorer la réflexion de la lumière à la surface de la pièce métallique et de tendre vers la réflectivité la plus élevée possible, soit par exemple de l'ordre de 80 % dans le spectre visible pour l'aluminium [2]. Les travaux de recherche ont montré que le procédé électrochimique ne se réduit pas en fait à la seule diminution de la rugosité, mais induit également l'éventuelle présence en fin de traitement d'une couche d'oxydation. De ce point de vue, les auteurs distinguent en fait le brillantage électrochimique de l'électropolissage [3]. En dépit de leurs évidents avantages sur ceux réalisés mécaniquement et chimiquement, les traitements électrochimiques demeurent toutefois généralement restreints à des applications industrielles, les artistes préférant souvent pour leur part le polissage mécanique, en particulier pour les pièces de faibles dimensions. La combinaison d'actions localisées de polissage, satinage, martelage, ciselure, repoussage, gravure mécanique ou éventuellement chimique localisée, permet déjà de jouer avec la lumière et avec l'aspect de la surface métallique, et donc de créer (figure 1) avant même une éventuelle coloration.



Figure 1 - Faces avant (à gauche) et arrière (à droite) de boucles d'oreilles sur substrat aluminium (Didier Venturi).

Coloration des métaux par anodisation barrière

La coloration des métaux est un sujet déjà vaste à lui seul en raison de la diversité des procédés envisageables, qui dépendent de plus de la nature du substrat métallique. Une possibilité de coloration consiste à oxyder thermiquement

ou électrochimiquement le substrat métallique afin de développer à sa surface un film d'oxydes plus ou moins épais [4]. Dans le cas d'une oxydation électrochimique, il s'agit généralement d'une anodisation de type barrière ou compacte, c'est-à-dire que le film anodique est généralement dense et n'inclut pas de porosité. La variation de l'épaisseur du film anodique entre 50 et 250 nm sur substrat titane permet par exemple d'obtenir des colorations allant du violet au vert [5-6]. Cette application de l'anodisation du titane, mais également du niobium, est ainsi utilisée pour colorer certains *body-piercings* ou plus pratiquement pour distinguer les implants médicaux gauche et droite en titane. Au niveau artistique, cette technique électrochimique de coloration est parfois dénommée oxygraphie, l'emploi de « masques » permettant alors d'élaborer des formes et de moduler les colorations (figure 2). Il faut préciser que dans ce cas, la coloration résulte en fait de différences de réflexion de la lumière à la surface de la pièce métallique en fonction de l'épaisseur du film anodique. Cette application, aisée à mettre en œuvre, présente néanmoins le désavantage de ne permettre qu'une gamme limitée de coloration, puisque les couleurs blanche et noire en sont exclues, inconvénient pouvant être résolu par l'emploi de films anodiques poreux.

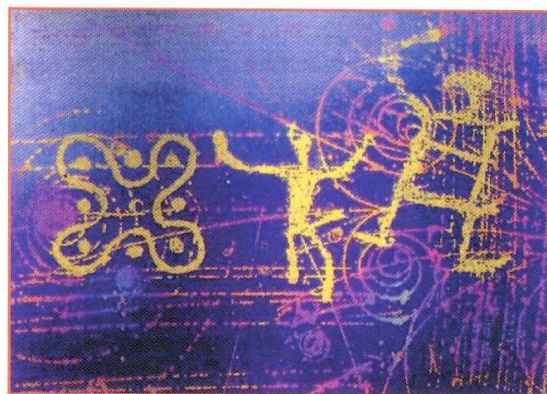


Figure 2 - « Interaction promise », anodisation barrière sur plaque (80 x 50 mm) de niobium (Léo Dubal, 1990).

Coloration des métaux par anodisation poreuse

L'anodisation poreuse consiste à oxyder électrochimiquement un substrat métallique de façon à former cette fois un film anodique incluant des pores. Le nombre (de 10^{12} à 10^{15} pores/m²), la forme (idéalement cylindrique) et le diamètre (de 2 à 500 nm) (figure 3) de ces pores dépendent de nombreux paramètres opératoires tels que l'électrolyte, le signal électrique imposé ou encore la nature de l'alliage métallique. À ce jour, ce procédé est en fait quasi exclusivement appliqué à l'aluminium et à ses alliages, même si d'autres substrats ont été étudiés récemment.

Sans même évoquer le laquage et l'application de peinture, il existe déjà en fait de nombreuses possibilités pour colorer des films anodiques poreux [7], parmi lesquelles figurent :

- l'anodisation autocolorée, la coloration étant effectuée durant l'anodisation,
- la coloration chimique organique, par insertion de pigments organiques à l'intérieur des pores,

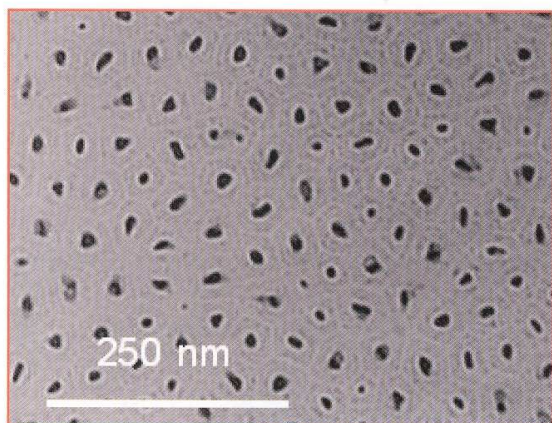


Figure 3 - Cliché MET en vue surfacique d'un film anodique poreux obtenu sur alliage 1050A.

- la coloration chimique inorganique par précipitation de composés, notamment des oxydes métalliques, au sein des pores,
- la coloration électrolytique inorganique par dépôt électrochimique de métal ou d'alliage métallique au fond des pores [8-9],
- la coloration interférentielle consistant à modifier les caractéristiques morphologiques du film anodique, notamment en formant des sous-couches de porosités différentes.

Les caractéristiques de ces procédés de coloration sont présentées dans le *tableau I* ; le choix du procédé mis en œuvre dépend en fait de l'usage final de la pièce. Même si deux procédés sont parfois mis en œuvre pour une même pièce afin de palier aux inconvénients de l'un et de l'autre et étendre la gamme de teintes et de nuances, la coloration est généralement issue d'une seule opération en vue d'une application donnée. Ainsi l'imprégnation électrochimique

d'un métal est plutôt utilisée pour des applications de coloration de profilés en construction, tandis que la coloration organique est usuellement employée pour la décoration, à l'exemple des parties métalliques des flacons de parfum.

Décoration en architecture

L'anodisation poreuse de l'aluminium et de ses alliages est en fait un procédé ancien, découvert par H. Buff en 1857 et développé par De Saint Martin en 1911, qui en proposa dès lors les principes de base [7]. L'avènement dans les années 1930 de l'aluminium pour la construction des avions, en remplacement du bois et de la toile, fut l'occasion de développer différents procédés d'anodisation [10] permettant d'élaborer des revêtements présentant de bonnes propriétés de tenue contre la corrosion.

Bien que le principe de l'imprégnation électrochimique d'un métal (Sn, Ni, Co) ou d'un alliage métallique (Sn-Ni) dans les films anodiques poreux soit connu depuis 1936 en Italie [10], c'est l'obtention de revêtements colorés par Asada au Japon dans les années 1960 qui a marqué le véritable avènement industriel de la technique, notamment au niveau de la menuiserie métallique pour la décoration en architecture [11]. Ce choix s'explique en particulier par la localisation du métal au fond des pores (*figure 4*) qui induit une pérennité de la coloration en dépit des intempéries et de l'exposition aux rayons ultraviolets. Les études académiques antérieures répertorient largement les coloris obtenus, mais n'évoquent pas ou très peu les explications des phénomènes de coloration dans le cas des films anodiques imprégnés de métaux, hormis pour évoquer des phénomènes de réflexion dans les pores et sur le métal imprégné, seul Goad [12] ayant proposé un modèle à notre connaissance. Les phénomènes exacts restent à expliquer, en fonction non seulement de la nature et de la quantité du métal ou de l'alliage métallique, mais aussi de sa forme. En effet, il a été montré que la mise en œuvre d'un signal électrique alternatif ou d'un courant pulsé mène à la

Tableau I - Tableau comparatif des avantages et inconvénients des différents procédés de coloration de films anodiques poreux sur substrats d'alliages d'aluminium.

	Anodisation autocolorée	Coloration organique	Coloration inorganique	Coloration électrolytique	Coloration interférentielle
Nature de la couleur et localisation dans le film anodique	Phénomènes interférentiels dans tout le film anodique	Couleur du colorant organique en haut du film anodique	Couleur du précipité inorganique en haut du film anodique	Phénomènes interférentiels et de réflexion plutôt en bas du film anodique	Phénomènes interférentiels et de réflexion dans tout le film anodique
Durabilité de la couleur aux UV, intempéries, température	Moyenne	Mauvaise	Bonne	Bonne	Bonne
Durabilité de la couleur à l'abrasion	Bonne	Mauvaise	Mauvaise	Bonne	Moyenne
Gamme de couleurs et de nuances	Limitée	Très étendue	Limitée	Limitée	Limitée
Mise en œuvre	- Simultanée - Peu reproductible - Coût élevé	- Post-traitement - Aisée	- Post-traitement - Plusieurs bains	- Post-traitement - Surcoût électrique	- Double anodisation, combinée avec la coloration électrolytique
Applications	Architecture	Décoration, art	Architecture	Architecture	Architecture

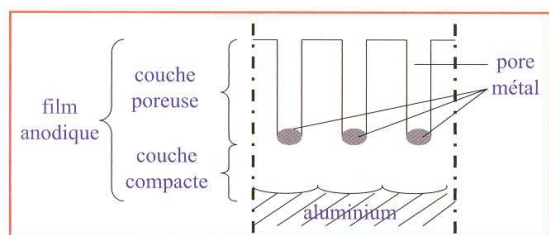


Figure 4 - Schéma transversal d'un film anodique coloré par imprégnation électrochimique d'un métal ou d'un alliage métallique.

formation respectivement soit de nanofils, soit de particules sphériques ou ellipsoïdales (de 15 à 50 nm) [13], donc nettement plus petites que la gamme de longueur d'onde dans le domaine du visible (400-700 nm).

Les inconvénients majeurs de ce procédé électrochimique de coloration résident dans la gamme limitée de couleurs et surtout de nuances possibles, ainsi que la difficulté, voire l'impossibilité, à élaborer des motifs complexes et multicolores. Enfin, les teintes présentent le plus souvent un aspect mat, qui peut être dû à l'état de surface initial du substrat, à l'épaisseur importante du film anodique poreux (jusqu'à 120 μm) dans ce cas, ou encore au colmatage final. Pour toutes ces raisons, ce type de coloration est demeuré cantonné au domaine de la décoration d'éléments architecturaux, les artistes lui préférant la coloration organique pour élaborer leurs œuvres, habituellement de plus petites dimensions, et comportant une gamme plus étendue de couleurs et de motifs.

Les aluchromistes historiques

Il semble que des artistes aient essayé tout d'abord (années 1920 à 1940) d'appliquer des peintures directement sur la surface des pièces métalliques, l'absence d'un film anodique ou d'une couche d'accrochage, notamment sur substrat d'aluminium, entraînant fatalement plus de soixante dix ans plus tard un écaillage de la peinture ou bien une corrosion plus ou moins importante de la surface de l'œuvre.

L'avènement de nouveaux alliages d'aluminium (le Duralumin en 1911 notamment) pour la construction des avions fut l'occasion de développer différents procédés d'anodisation [10] permettant d'élaborer industriellement des revêtements présentant de bonnes propriétés de tenue contre la corrosion, et permettant par ailleurs des colorations et l'amélioration de l'adhérence des peintures. Le premier emploi de l'aluminium anodisé à des fins artistiques est incertain à dater avec précision, ainsi que l'évoquait déjà Maurice Victor en 1962 [14]. Par contre, c'est en 1959 qu'a émergé en Belgique un mouvement artistique, le Groupe des Aluchromistes Belges, reprenant la technique de coloration organique polychrome de films anodiques poreux sur substrat d'aluminium en vue de créations artistiques. L'article pionnier de Maurice Victor [14] relate en des termes enthousiastes les débuts parfois hauts en couleurs de ce groupe composé alors de Ralph Cleeremans, Arhié Mendelbaum, Pierre Leloup, Giancarlo Crivellaro, Louis Tournay et représenté par Raoul Van Loo, et qui s'ouvrira à d'autres artistes belges (Daels, Peellaert...) et perdurera jusque dans les années 70.

L'aluchromie, fait peut-être un peu moins connu, s'est aussi développée en France, notamment dans la région de

Cannes, à partir de la seconde partie des années 1960, sous l'impulsion d'une galeriste nommée Cécile de Terssac, le groupe d'artistes français étant d'ailleurs parfois dénommé « Groupe de Terssac ». Les œuvres de Claude Morini en particulier (figure 5) furent présentées notamment à Paris à l'occasion d'expositions soutenues par Pechiney (1968) ou par l'association pour le développement de l'anodisation de l'aluminium et de ses alliages (ADAL) en 1969.

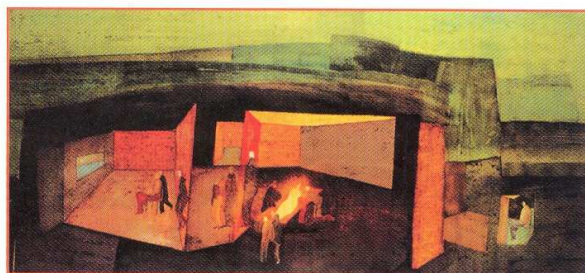


Figure 5 - « Le défilé », aluchromie sur plaque (1 990 x 940 mm) (Claude Morini, 1974).

Du point de vue technique, la coloration organique de films anodiques était déjà connue industriellement, mais fut adaptée spécifiquement par ces différents artistes pour la réalisation d'œuvres : les substrats d'aluminium étaient tout d'abord prétraités (voir chapitre sur la préparation de la surface), puis l'anodisation était effectuée (le plus souvent en milieu d'acide sulfurique) afin d'aboutir à une épaisseur de film anodique comprise entre 10 et 20 μm , les teintes sombres nécessitant les valeurs les plus élevées. L'application de la couleur devait être ensuite rapidement effectuée sur « couche fraîche d'oxydes », divers colorants ayant été semble-t-il testés, à commencer par des pigments organiques pour le textile (Badische Aniline) dissous dans des solvants organiques tels que le toluol ou le méthyl-acétone [14], ou bien l'acétone, le méthylglycol ou du diméthyl-formamide [15]. La spécificité majeure du travail des artistes réside en fait dans l'application des colorants, non pas dans ce cas par immersion dans des bains de coloration, mais au pinceau, à la plume, à l'ouate, à la main [14], au pistolet à peinture, au coton-tige [16] ou à la pipette, sans ou avec l'emploi d'éventuels masques (figure 6). La mise en œuvre des colorations différait apparemment grandement en fonction des techniques et habitudes propres à chaque artiste, ainsi que des moyens à sa disposition, une association d'anodisation autocolorée et de post-coloration étant même évoquée par Bosdorf [16]. Après application des couleurs, l'œuvre, le plus souvent une plaque, était immergée dans de l'eau bouillante, additionnée ou non d'acétates de nickel et de cobalt, afin de procéder à un colmatage, c'est-à-dire une obturation finale des pores induisant une augmentation de la tenue à la corrosion. La procédure d'élaboration de l'œuvre était éventuellement parachevée par un traitement de finition de laquage ou vernissage, qui permettait d'une part d'augmenter la brillance de la surface et d'autre part de prévenir encore la corrosion.

Dans le cas de la coloration chimique organique, la couleur de la surface est simplement celle du colorant, d'autant qu'il est localisé en haut des pores du film anodique poreux (figure 7). Cette dernière caractéristique induit qu'une



Figure 6 - « René'horse », coloration organique noire avec utilisation d'un masque sur alliage 2024T3 (122 x 82 x 1 mm) anodisé (Laurent Arurault, 2006).

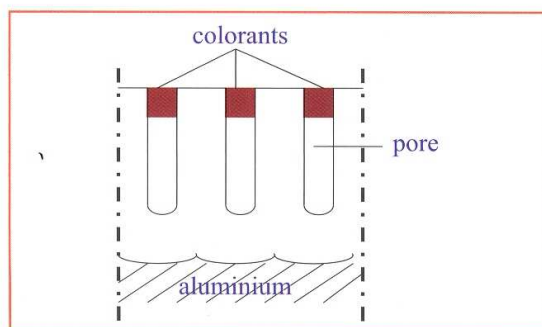


Figure 7 - Schéma transversal d'un film anodique coloré par immersion à l'aide de pigments organiques ou minéraux.

abrasion superficielle de la surface peut entraîner la dégradation locale de l'œuvre. De plus, une atténuation des couleurs, en particulier du noir, est parfois observée après plusieurs années en raison d'une dégradation des colorants organiques sous l'effet de la lumière, notamment des ultraviolets.

Les aluchromistes contemporains

À notre connaissance, il n'existe plus à notre époque d'artistes se réclamant d'un groupe spécifique d'aluchromistes. Par contre, nombreux sont ceux, artistes ou amateurs, qui ont pratiqué ou pratiquent encore l'aluchromie, mais non exclusivement. En première approche peuvent être distingués deux groupes d'œuvres en fonction de l'usage ou application finale : la décoration d'objets d'une part et la réalisation de tableaux, panneaux d'extérieur ou d'intérieur d'autre part.

Des bijoux fantaisies à base de fils d'aluminium (figure 8a) et même des structures de joaillerie mettent ainsi en œuvre des colorations organiques, tandis qu'un procédé intitulé « anographics » permet notamment de décorer les corps de guitares en aluminium [17-18] (figure 8b).

Concernant la création d'œuvres d'art, les artistes emploient l'aluchromie en l'associant de plus en plus à



Figure 8 - Quelques réalisations employant l'aluchromie : (a) bijoux fantaisie, coloration organique d'aluminium anodisé (Virginie Planas, 2004-2007) ; (b) « Egret guitar », coloration sur corps de guitare en aluminium anodisé (Peter Kellett) ; (c) « Abstract 08 », collage et coloration sur aluminium anodisé (Peter Kellett) ; (d) « Aero », alliage 5051 anodisé et peint, collé sur support bois peint (800 x 800 x 15 mm) (Sylvain Vanitou, 2006) ; (e) aluchromie (Anneliese Müller-Nisi).

d'autres techniques artistiques (collage, peinture...) (figure 8c) et d'autres matériaux (figure 8d), en vue d'œuvres figuratives ou abstraites (figure 8e).

Conclusions

L'emploi de l'électrochimie en vue de la création d'œuvres décoratives ou artistiques à partir de substrats métalliques est un sujet très vaste. Exception faite de l'élaboration de la matière par électrometallurgie, l'électrochimie intervient essentiellement au niveau des traitements de surfaces, c'est-à-dire en fin de l'élaboration de l'œuvre. À ce stade, la surface peut être par exemple préparée ou modifiée par électropolissage ou brillantage électrolytique afin d'obtenir une grande brillance, puis par anodisation menant alors suivant les conditions opératoires à un film anodique soit compact soit poreux. Le premier cas est mis en œuvre avec succès sur plusieurs métaux (Al, Ti, Nb), la coloration résultant alors de phénomènes interférentiels. Le second cas de films anodiques poreux concerne à ce jour essentiellement les substrats d'aluminium. L'existence de cette porosité (de 2 à 500 nm de diamètre) démultiplie alors les possibilités de coloration et donc de création, par sa faculté à intégrer des colorants ou des pigments organiques, minéraux ou métalliques. En particulier, dès les années 1960, l'imprégnation électrochimique de métal au fond des pores a permis de colorer et de décorer les éléments métalliques en architecture. En parallèle, le mouvement artistique des Aluchromistes s'est orienté vers la création d'œuvres, plutôt par coloration organique de substrats d'aluminium anodisé. Depuis, la technique s'est étendue et nombreux sont les artistes, amateurs ou non, qui emploient l'aluchromie pour l'associer le plus souvent à d'autres techniques ou matériaux. De ce point de vue, le présent article mériterait d'être poursuivi pour exposer l'implication de l'électrochimie dans les arts, au travers des dépôts cette fois cathodiques d'oxydes et de métaux.

Remerciements

Je remercie grandement Cécile de Terssac, ainsi que Maribelle de Terssac et leur famille, pour leurs accueil, disponibilité et patience. Que soient également ici remerciés François Bourgeau, Léo Dubal, Peter Kellett, Karin Kremer, Anneliese Müller-Nisi, Virginie Planas et Sylvain Vanitou pour leur soutien et leur accord pour cet article. J'invite d'ailleurs le lecteur à prolonger la découverte de leurs œuvres au travers de la visite de leurs sites Internet respectifs : www.archaeometry.org/interaction.htm (Léo Dubal) www.peterkellettart.com ; www.pkselective.com ; www.kellettguitars.com (Peter Kellett) www.karinkremer-art.com (Karin Kremer) <http://morini.claude.free.fr/> (Claude Morini) www.amn-arte.com (Anneliese Müller-Nisi) www.manifestdesign.qc.ca (Virginie Planas)

J'exprime aussi ma sincère reconnaissance à Hélène Frouard et à l'Institut pour l'Histoire de l'Aluminium (IHA) qui ont contribué à cet article en permettant l'accès à leurs archives, ainsi qu'à Élisabeth Joubin pour la traduction des documents en allemand et au professeur André Savall pour son soutien.

Je dédie cet article à la mémoire de Christian Arurault.

Références

- [1] Grinberg I., *L'Aluminium, un si léger métal*, Découvertes Gallimard, 2003.
- [2] Vargel C., *Propriétés générales de l'aluminium et de ses alliages*, Techniques de l'Ingénieur, M 4661, 2005, p. 1.
- [3] Gabe D.R., Anodic polarization during electrobrightening and electropolishing of aluminium, *Transactions of the Institute of Metal Finishing*, 1973, 51, p. 32.
- [4] Arurault L., The Pilling-Bedworth ratio of thick anodic aluminium porous films prepared at high voltages in H₂SO₄ based electrolyte, *Transactions of the Institute of Metal Finishing*, 2008, 86, p. 51.
- [5] Dubal L., *Chromatique des films minces*, Oberfläche/Surface, 1989, 8, p. 16.

- [6] Sul Y.-T., Johansson C.B., Jeong Y., Albrektsson T., The electrochemical oxide growth behaviour on titanium in acid and alkaline electrolytes, *Medical Engineering & Physics*, 2001, 23, p. 329.
- [7] Safrany J.-S., *Anodisation de l'aluminium et de ses alliages*, Techniques de l'Ingénieur, M 1630, 2008, p. 1.
- [8] Arurault L., Salmi J., Bes R.S., Comparison of AC voltage and periodic-reverse current nickel pigmented anodized aluminium as solar selective absorber, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2004, 82, p. 447.
- [9] Arurault L., Zamora G., Bes R.S., Formulation de nouveaux bains pour la coloration électrolytique, *Galvano-Organo et Traitements de Surface*, 2007, 767, p. 40.
- [10] Wernick S., Pinner R., Sheasby P.G., *The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys*, Vol. 1, 5th Ed., ASM Intern. & Finishing Pub. Ed., Teddington, R.-U., 1987.
- [11] *Proceedings du Congrès International de l'Aluminium Anodisé, en architecture et dans les arts plastiques*, 31-23 mai 1969, Paris.
- [12] Goad D.G.W., Moskovits M., Colloidal metal in aluminium oxide, *J. Appl. Phys.*, 1978, 49, p. 2929.
- [13] Wazwaz A., Bes R.S., Abed-Rabbo A., Mastai Y., Characterization and degradation testing of nickel pigmented anodic alumina solar selective absorber films produced by alternative and reverse periodic plating technique, *International Journal of Sustainable Energy*, 2003, 23, p. 121.
- [14] Victor M., Boom sur l'aluchromie, *Revue de l'Aluminium*, 1962, 295, p. 200.
- [15] Lenoir C., De Graeve I., Terryn H., Aluchromy: an artistic painting technique on anodised aluminium, *Proceedings ASST 2006 Conference*, 14-18 mai 2006, Beaune, p. 61.
- [16] Bosdorf L., Aluchromie - eine neue Maltechnik, *Aluminium*, 1970, 46(6), p. 425.
- [17] Valero G., Fantastic finish - P.K. Selective redefines the art of aluminium anodizing, *Metal Finishing*, Déc. 2004, 102(12), p. 18.
- [18] Kellett P., Painting with dyes on anodized aluminium, *Metal Finishing*, Déc. 1998, p. 18.



Laurent Arurault

est maître de conférence à l'Université Paul Sabatier de Toulouse*.

* CIRIMAT – LCMIE/Institut Carnot, UMR 5085 CNRS/INPT/UPS, Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex 09.
Courriel : arurault@chimie.ups-tlse.fr

Depuis 1988
Les Editions D'Ile de France



Expérience, la différence

102, avenue Georges Clemenceau
94700 Maisons-Alfort
Tél. : 01 43 53 64 00 • Fax : 01 43 53 48 00
e-mail : edition@edif.fr

Votre contact : André BERDAH

Régisseur exclusif
de la revue *Actualité Chimique*

Web : www.edif.fr